

Ferramenta de Simulação de Bombeamento Eólico

C. R. Ferreira, E. de A. T. Costa

Depto de Química e Exatas, DQE - UESB

45206-510 Jequié, BR

crequiao@uesb.edu.br, eldercosta33@yahoo.com.br

Resumo

Nos últimos anos vem sendo realizados diversos estudos em relação ao impacto ambiental causado durante a obtenção de energia, como consequência há o aumento da preocupação com a conscientização do homem de que se deve manter o equilíbrio dos recursos naturais da Terra. A energia eólica surge como uma alternativa de grande potencial, devido a sua característica de não poluir, a mesma vem sido vista como a fonte renovável mais prospera no que diz respeito aos aspectos de segurança energética. Diante deste cenário a energia eólica se torna uma importante fonte de energia para realização de bombeamento de água, principalmente em regiões onde a energia convencional não permite o atendimento das necessidades mais básicas do ser humano. O presente trabalho destina-se ao desenvolvimento de uma ferramenta capaz de fazer simulação de bombeamento eólico de água para ser utilizada em planejamento e estudos sobre avaliação de locais que poderão ter potenciais de aproveitamento deste tipo de energia, associado a locais que têm água, mas não energia elétrica, em uma iniciativa de cunho social, podendo oferecer a comunidades isoladas que não dispõem de água para as necessidades mais básicas, tais como dessedentação animal e humana, irrigação, dentre outros.

Palavras-chave: Energia eólica, bombeamento eólico, simulação.

Abstract

In recent years several studies have been carried out regarding the environmental impact during the production of energy, as a consequence there is increased concern about man's awareness that one must maintain the balance of Earth's natural resources. Wind power is an alternative with great potential, due to its characteristic of not pollute, it has been seen as a renewable source thrives in relation to issues of energy security. In this scenario wind energy becomes an important source of energy for performing the pumping of water, especially in areas where conventional power does not allow the fulfillment of basic needs of human beings. This work is intended to develop a tool capable of simulating wind pumping of water to be used in planning and evaluation studies of sites that may have potential use for this type of energy associated with sites that have water, but no electricity, an initiative in social, can offer to isolated communities that lack water for basic needs, such as human and animal watering, irrigation, among others..

Keywords: Wind power, wind pumping, simulation.

Introdução

A água é a principal fonte de vida para a humanidade e uma das mais básicas necessidades de desenvolvimento rural. A demanda rural de água para irrigação e abastecimento doméstico vem aumentando, porém precipitações estão diminuindo em muitos países áridos e com isso a água da superfície está se tornando escassa. Com essa tendência, o mecanismo de bombeamento de água passará a ser a única alternativa viável para extração de água subterrânea, essa extração pode ser alimentada por fontes de energia renováveis (eólica), as quais são especialmente úteis em localidades remotas onde o fornecimento de combustível é escasso (Argaw; Foster, 2003).

Segundo Inatome (2005) e Martins (2007), faz-se necessário a utilização de outros métodos para geração de energia, ou seja, a utilização das fontes renováveis de energia que impactem o mínimo possível no meio ambiente, visando à busca da sustentabilidade e a diminuição do impacto decorrente do seu consumo.

Diante deste cenário, a energia eólica surge como uma alternativa que vem se tornando mais importante a cada dia, e pode ser considerada como uma alternativa energética sustentável para produção de energia elétrica. Devido à energia eólica não poluir durante sua operação, a curto prazo, ela vem sendo vista como a fonte de energia renovável mais próspera no que diz respeito aos aspectos de segurança energética, custo sócio-ambiental, e viabilidade econômica.

A energia eólica é uma importante fonte de energia para realizar bombeamento d'água, principalmente em regiões onde a energia convencional não permite o atendimento das necessidades mais primárias do ser humano. Como fonte de energia permite ser utilizada para diversos fins, dentre eles, o bombeamento (Ferreira, 2006).

Muito embora a energia eólica já esteja relativamente explorada em muitos países, os diversos modelos de simulação do comportamento de sistemas de bombeamento precisam ser aperfeiçoados, pois as bombas centrífugas são montadas para operar em regime definido de injeção de energia, o que se torna difícil quando o sistema está acoplado a uma turbina eólica que, pela variabilidade da intensidade do vento, não é garantido que o aproveitamento da energia seja na sua totalidade, pois nas condições de vento do local, a flutuação estocástica faz com que a turbina nem sempre opere nas condições ideais, ou melhor, na condição nominal de operação. A energia eólica pode ser avaliada a partir do conhecimento do comportamento do vento, ou seja, conhecendo sua velocidade e como ela se distribui ao longo de períodos. Diante dessa problemática, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de fazer simulações de bombeamento eólico para ser utilizada em planejamento e estudos sobre avaliação de locais que poderão ter potenciais de aproveitamento deste tipo de energia, surge como algo interessante.

Energia Eólica

O uso da energia eólica no mundo tem crescido muito nos últimos anos, em virtude de uma série de fatores, entre os quais se destacam a disseminação da tecnologia, o aperfeiçoamento das máquinas, os custos decrescentes de investimentos e em particular a procura por fontes energéticas limpas e renováveis cuja exploração resulte em pequenos impactos ambientais.

A energia eólica é um tipo de energia renovável que provém da radiação solar uma vez que, ao incidir de forma diferenciada sobre as camadas da atmosfera, a superfície terrestre e os oceanos, são gerados os ventos. Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento). Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação com o emprego de turbinas eólicas (aerogeradores), para geração de eletricidade (Albadó, 2002; Ferreira, 2006).

Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra são convertidas em energia cinética dos ventos (Dutra, 2008).

Bombeamento Eólico

Nos dias de hoje, as perspectivas de uso de energia eólica para diversos fins foram reavivadas, com isso novos projetos de aproveitamento de energia eólica foram postos em prática com o desenvolvimento de modernas turbinas eólicas, cujo desempenho foi melhorado extraordinariamente em comparação aos modelos mais antigos. Esse grande avanço se deve a crise energética que teve início nos anos 70, em consequência veio à conscientização de que os combustíveis fósseis não são inesgotáveis e sua utilização traz danos substanciais ao meio ambiente.

Diante deste cenário é observada a necessidade de redução da utilização de combustíveis fósseis, assim tornando prioritário o desenvolvimento de tecnologias e sistemas que possibilitem a utilização de fontes renováveis de energia. A utilização da energia eólica aparece com grande potencial em relação a todo este contexto, devido a sua grande abrangência e a possibilidade de implantação de sistemas eólicos em regiões rurais onde a energia convencional não está presente (Ferreira, 2006).

Em meio às aplicações no que diz respeito à geração de energia renovável, o bombeamento d'água surge como algo de extrema necessidade para uso humano, animal ou para irrigação em meios rurais devido a sua caracterização como energia "limpa", com isso não afetando o meio ambiente. Com a presença de vento em quantidade satisfatória nestes locais, a energia eólica surge como solução técnica e econômica para essas situações (Presenço, 2007).

TURBINAS EÓLICAS

Turbinas eólicas, ou aerogeradores, são máquinas que absorvem a energia cinética dos ventos através de um rotor aerodinâmico, convertendo em energia mecânica, que tanto pode ser utilizada como tal, como pode ser transformada em energia elétrica, acoplando-se um gerador elétrico ao eixo da turbina. Este tipo de gerador se popularizou rapidamente devido à energia eólica ser considerada uma "energia limpa" já que não necessita de combustão, conseqüentemente não são produzidos resíduos poluentes (Campos, 2004).

Bombas

A tendência da humanidade é que cada vez mais com seu desenvolvimento e a evolução dos processos agrícolas, haja o aumento da necessidade de água acompanhada pela sua escassez (distancias cada vez maior). Diante disto há a necessidade de projetar novos dispositivos para diminuir os esforços e que possibilitem o fornecimento de água com maior eficiência e rapidez. Sendo assim, a utilização de bombas hidráulicas para transporte de líquidos (irrigação ou abastecimento de água para pequenas comunidades), surge como algo de extrema importância.

As bombas hidráulicas são máquinas de fluxo, que tem por finalidade fornecer energia para água, com o objetivo de realizar o deslocamento da mesma através da conversão da energia mecânica.

Simulação

Simulação pode ser entendida pela utilização de modelos, com o objetivo de estudar o comportamento de um sistema real, ou seja, permite simular (imitar) o funcionamento de processos do mundo real. O termo simulação é bastante genérico, devido às variadas formas e mecanismos utilizados para a representação do comportamento de sistemas (Mello, 2001).

Segundo Mello (2001) a simulação tem sido cada vez mais utilizada devido aos benefícios aliados à agilidade proporcionada pela mesma. Recomenda-se em geral o uso da simulação em dois casos: quando a solução de determinado problema é dispendiosa ou impraticável por meio de experimentos; ou quando os problemas são de extrema complexidade. Como exemplo de aplicações de simulação pode-se citar: o planejamento de um futuro sistema; testar um sistema em relação a diversos parâmetros, dentre eles custo ou até mesmo se o sistema esta realmente atendendo ao que se deseja.

Pode-se destacar como vantagens da utilização da simulação (Mello, 2001; Berkenbrock, 2005):

- No que diz respeito ao tempo possibilita a realização de experimentos que se fossem realizados no mundo real poderia demorar anos para se obter os resultados;
- A possibilidade de analisar sistemas sem que os sistemas reais sofram perturbações.
- Geralmente o custo é bem abaixo do que seria gasto na realização de um sistema real;

Pode ser utilizada em situações em que as experimentações no sistema real não podem ser realizadas por diversas questões, dentre elas: segurança, tempo, acesso ou até na inexistência de um sistema real completo.

Ferramentas Relacionadas

As ferramentas que serão a seguir abordadas dizem respeito à energia eólica em geral, são elas: HOMER, ASES e EOLUSOFT.

A ferramenta HOMER é um programa que visa à modelagem de um projeto para sistemas de geração de energia. É apropriado na utilização para comparação de diferentes capacidades e quantidades de diferentes e diversos componentes, e planejar como na configuração de projetos, o custo de instalação e de operação são afetados pelas variações de recursos, podendo avaliar também uma série de equipamentos e suas limitações, assim otimizando os sistemas de energia (Givler, Lilienthal, 2005).

ASES é uma ferramenta computacional que tem por objetivo proporcionar uma interface de fácil interação com o usuário e seu intuito principal é tornar possível a análise do potencial energético, dimensionar e estudar sistemas de energia eólicos e fotovoltaicos, a partir de informações e características das potencialidades energéticas locais e dos equipamentos de geração. A ferramenta é constituída de dois módulos independentes: um com a finalidade de analisar sistemas eólicos e o outro para análise de sistemas fotovoltaicos, ambos possuem o tratamento de dados meteorológicos disponíveis.

A ferramenta EoluSoft apresenta uma solução para dimensionamento de sistemas eólicos fotovoltaicos. Segundo Alé, Paludo e Marozzin essa ferramenta pode ser utilizada para o ensino em cursos de engenharia onde são abordados tópicos de produção de energia e geração com base eólica e solar, podendo ser realizados estudos de casos típicos de dimensionamento de sistemas para análise da opção mais adequada para cada localidade.

Estas ferramentas apresentadas estão relacionadas com o tema deste projeto. Vale ressaltar que as ferramentas citadas estão relacionadas com a utilização da energia eólica, porém não abordam a principal problemática atendida na realização deste trabalho que é o bombeamento eólico de água.

Pode-se destacar a utilização de ferramentas computacionais na resolução de problemas reais, planejamento de sistemas, ou até mesmo verificação do funcionamento de sistemas através da utilização de simulação computacional. Pode-se destacar ainda a existência de algumas ferramentas voltadas ao estudo e dimensionamento da geração de energia através de fontes renováveis. Ferramentas com esse objetivo vêm sendo desenvolvidas cada vez mais devido ao aumento da preocupação mundial no que diz respeito à sustentabilidade.

Metodologia

A ferramenta computacional proposta neste trabalho foi modelada a partir do uso da notação *Unified Modeling Language* (UML). Segundo Silva e Videira (2001) o UML é uma linguagem para especificação, construção, visualização e documentação de artefatos de um sistema de software. A ênfase do UML é na definição de uma linguagem de modelagem standard, por conseguinte, o UML é independente das linguagens de programação, das ferramentas CASE, bem como dos processos de desenvolvimento. O objetivo do UML é que, dependendo do tipo de projeto, da ferramenta de suporte, ou da organização envolvida, devem ser adotados diferentes processos/metodologias, mantendo-se, contudo a utilização da mesma linguagem de modelagem. A figura 2 e 3 ilustram diagramas gerados a partir da modelagem.

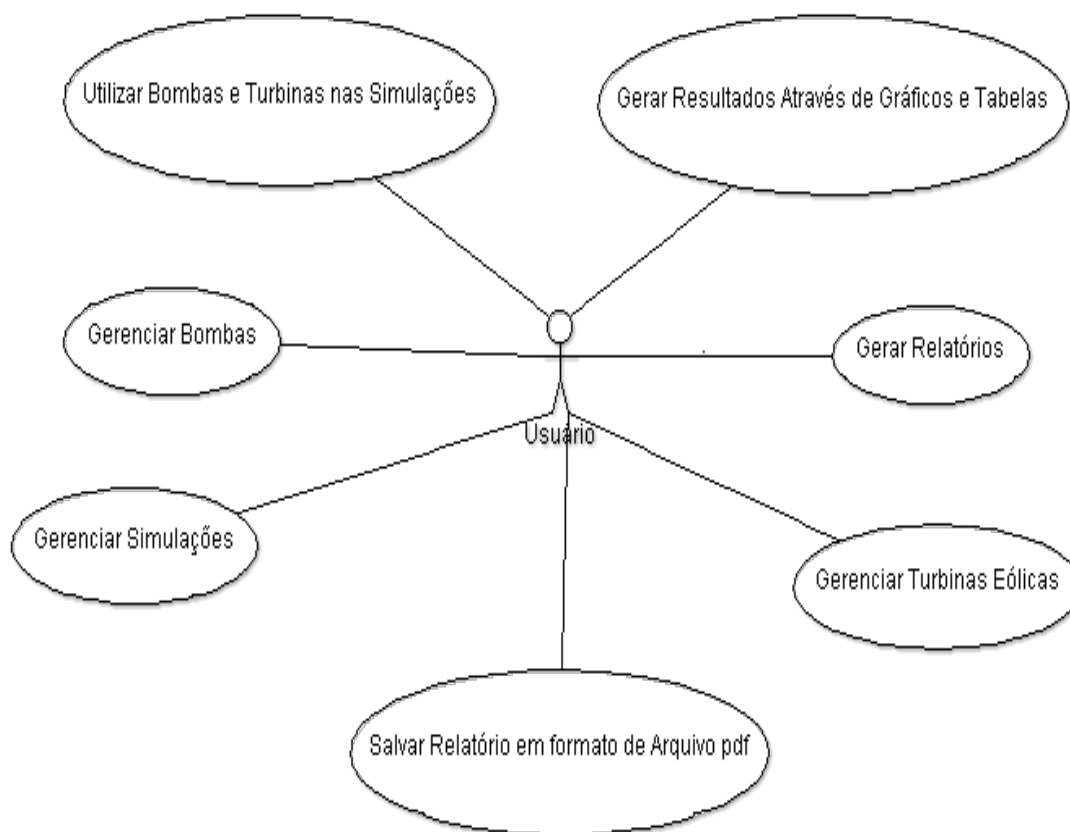


Figura 1 - Diagrama de Casos de Uso

O diagrama presente na Figura 2 consiste em um diagrama de casos de uso que tem por objetivo descrever a funcionalidade proposta para um novo sistema que será projetado, já a Figura 3 ilustra o diagrama de entidade relacionamento que visa descrever o modelo de dados de um sistema com alto nível de abstração.

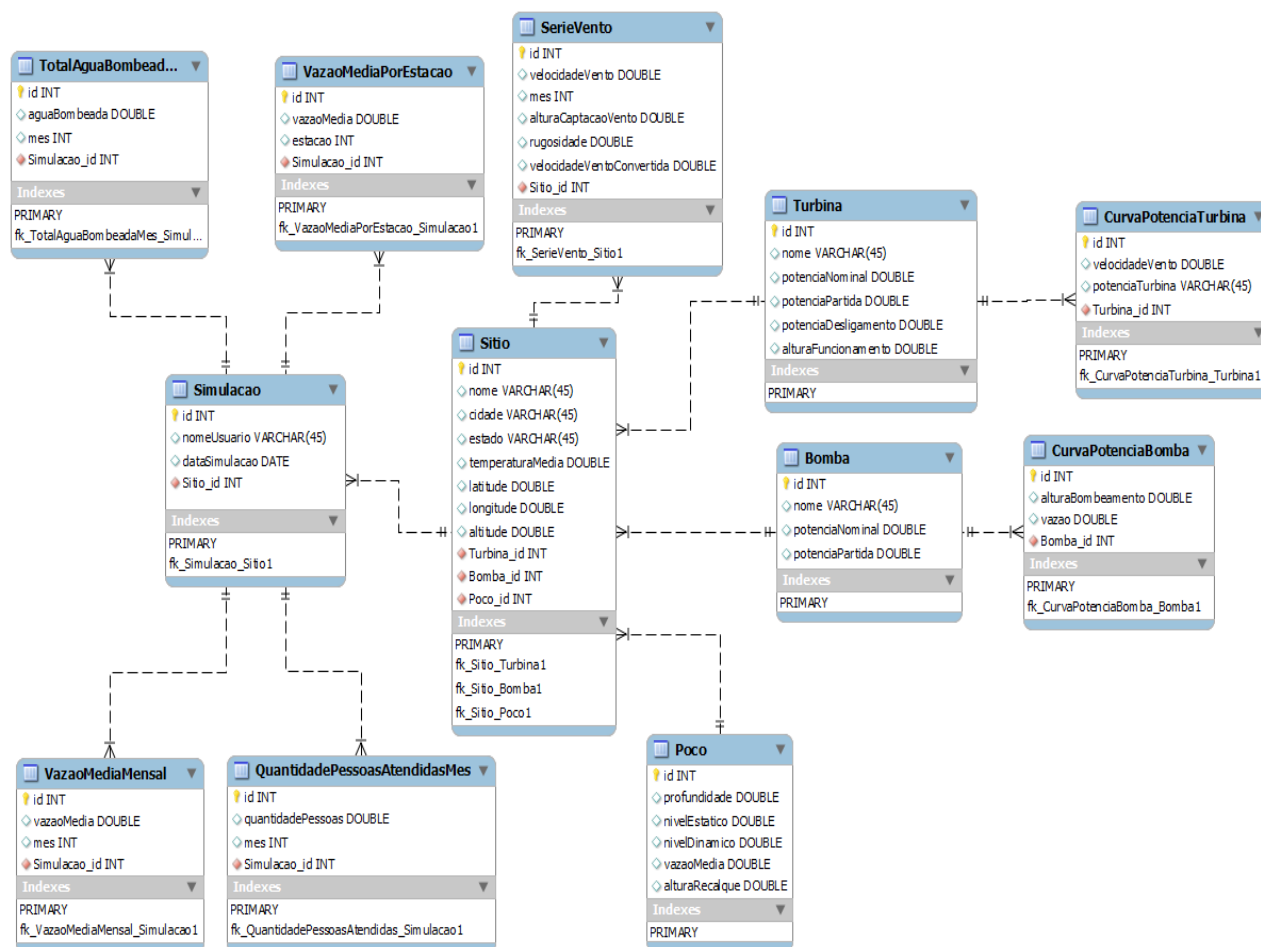


Figura 2 - Diagrama de Entidade Relacionamento

A primeira etapa para o desenvolvimento do sistema foi a realização do levantamento de requisitos que corresponde à etapa de compreensão do problema aplicada ao desenvolvimento de software. O principal objetivo do levantamento de requisitos é que usuários e desenvolvedores tenham a mesma visão do problema a ser resolvido (Bezerra, 2006).

Para o desenvolvimento da ferramenta foi utilizada a linguagem de programação JAVA que é uma linguagem simples, de fácil aprendizado ou migração, pois possui um reduzido número de construções. A diminuição das construções que possam causar mais erros de programação, tais como ponteiros e gerenciamento de memória via código de programação também faz com que a programação em Java seja mais eficiente. Contém um conjunto de bibliotecas que fornecem grande parte da funcionalidade básica da linguagem, incluindo rotinas de acesso à rede e criação de interface gráfica. Baseada no paradigma da Orientação a Objetos - encapsulamento em um bloco de software dos dados (variáveis) e métodos de manipulação desses dados - a linguagem permite a modularização das aplicações, reuso e manutenção simples do código já implementado.

Optou-se pela utilização de um ambiente livre para programação, portanto foi utilizado o Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE) Eclipse que é um framework gratuito, com código aberto, para desenvolvimento de programas de computador. Possui como característica marcante a forte orientação ao desenvolvimento baseado em plug-ins e o amplo suporte ao desenvolvedor com centenas de plug-ins que buscam atender as diferentes necessidades de diferentes programadores.

Como SGBD, foi utilizado o MySQL que utiliza a Linguagem de Consulta Estruturada (SQL) como interface.

Optou-se por desenvolver a ferramenta proposta seguindo o padrão MVC que é considerado um dos padrões da arquitetura de software mais utilizado na atualidade. O mesmo faz a divisão da aplicação em

três camadas: a camada modelo, a camada visão e por fim a camada controle, possibilitando a independência entre os componentes proporcionando escalabilidade, eficiência, reutilização e facilidade de manutenção no sistema (Rocha, 2008).

Foi utilizado o *framework* Hibernate devido ao mesmo proporcionar e facilitar o mapeamento dos atributos entre uma base tradicional de dados relacionais e o objeto de uma aplicação, com isso diminuindo o esforço de acesso ao banco de dados de forma considerável, como consequência também diminuindo o tempo que seria gasto para realização desta tarefa sobrando mais tempo para as regras de negócio do sistema desenvolvido. Uma importante característica que influenciou na sua escolha foi devido ao mesmo ser livre e de código aberto (Baver, King, 2005).

Optou-se pela utilização do iReport devido a facilidade no seu manuseio e devido ao mesmo proporcionar rapidez na criação dos relatórios necessários para apresentação das informações da ferramenta desenvolvida. O iReport possibilitou também, a geração de gráficos e tabelas no relatório visando uma melhor visualização das informações dos resultados gerados pela ferramenta desenvolvida (Gonçalves, 2009).

A Ferramenta de Simulação de Bombeamento Eólico

Foi desenvolvida uma ferramenta com o objetivo de fazer a simulação de bombeamento eólico para ser utilizada como auxílio no planejamento e estudos sobre avaliação de locais que poderão ter grande potencial de aproveitamento deste tipo de energia, associado a locais que possui água subterrânea, mas não energia, em uma iniciativa de cunho social, podendo oferecer a comunidades isoladas que não dispõem de energia para as necessidades mais básicas, tais como dessedentação animal e humana, irrigação, dentre outros.

A solução proposta visa permitir, ao usuário, simular diversos cenários diferentes para a análise do funcionamento do sistema de bombeamento eólico. O usuário informa ao sistema os dados necessários para os cálculos, posteriormente escolhe a turbina eólica e a bomba a ser utilizada na simulação. Como resultado o sistema apresenta gráficos e tabelas para uma melhor visualização e entendimento por parte do usuário. Por fim se o usuário desejar poderá ser realizado a geração do relatório da simulação.

A Figura 4 ilustra a sequência de utilização do sistema até a obtenção dos resultados finais.

Passo 1 – inicialmente é efetuada a entrada de dados da série de vento.

Passo 2 – neste passo, é verificado se a altura dos dados de vento está correta, ou seja, normalmente os dados de vento são captados a dez metros de altura, já a altura de funcionamento da turbina é variável, portanto se a altura de captação de vento não coincidir com a altura de funcionamento da turbina deverá ser efetuada uma conversão dos dados de vento para a altura correta.

Passo 3 – nesta fase, é executada a conversão da altura dos dados de vento caso a mesma não esteja na altura correta.

Passo 4 – nesta etapa, a série de vento é utilizada para obtenção de uma série de potência produzida pela turbina eólica através da interpolação da curva de potência da mesma. Interpolação é definida como sendo uma forma de estimar os valores de uma função entre aqueles dados por algum conjunto de pontos de dados.

Passo 5 – neste passo são incluídos os dados do poço e da bomba necessários para a simulação do bombeamento eólico. A partir destes dados são calculados a vazão média mensal em m^3/h , a vazão mensal em m^3 , a vazão média por estação em m^3/h , a média de pessoas atendidas por dia e por fim a volume total no ano em m^3 .

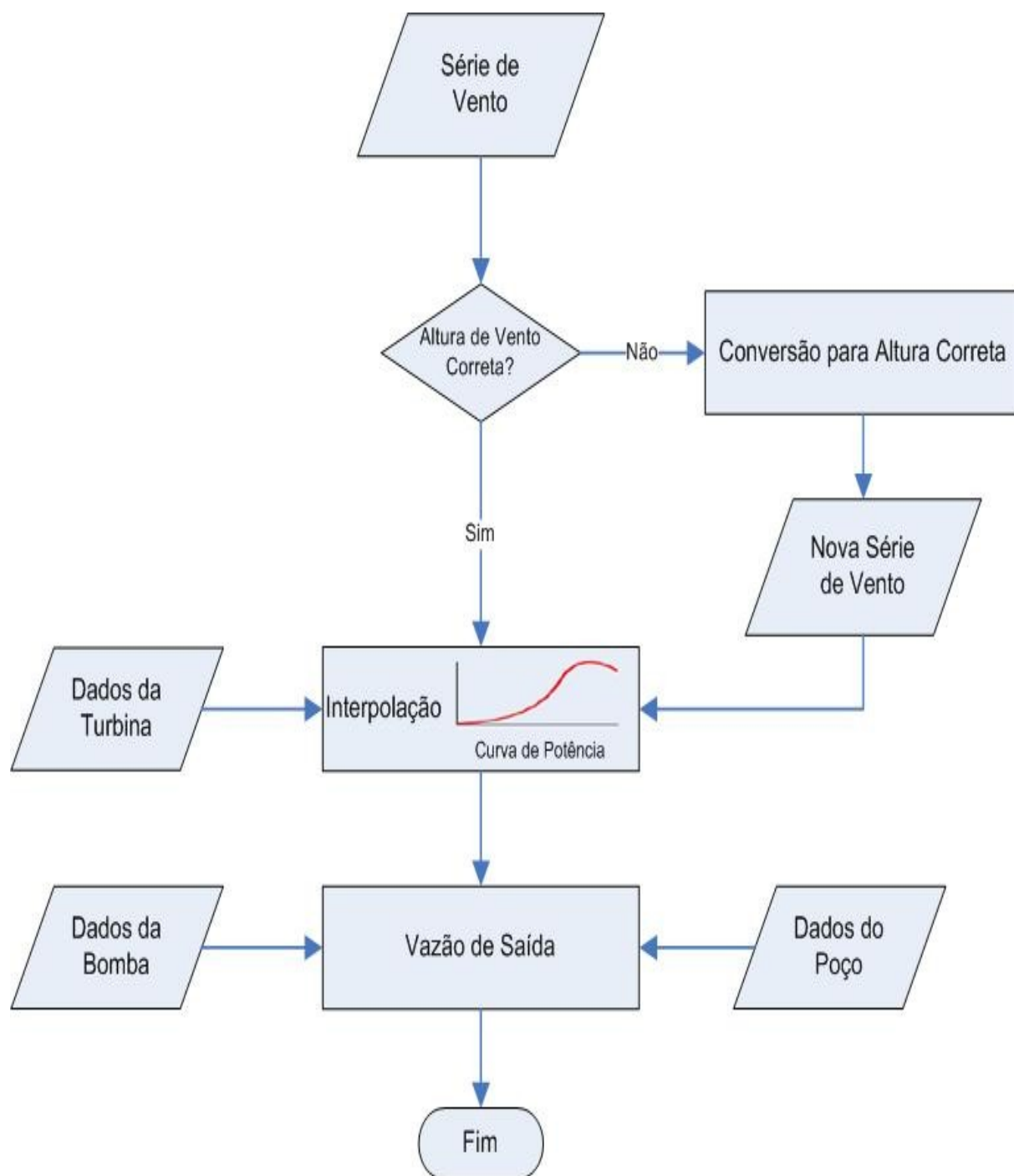


Figura 3 - Fluxograma da Ferramenta de Simulação de Bombeamento Eólico
Fonte: Modificado de Ferreira, 2006

A tela inicial é ilustrada na Figura 5. A ferramenta é composta de três módulos: um para gerenciamento de turbinas eólicas, outro para gerenciamento de bombas e outro principal para simulação de bombeamento eólico. Posteriormente serão descritos detalhadamente cada módulo do sistema e suas funcionalidades.

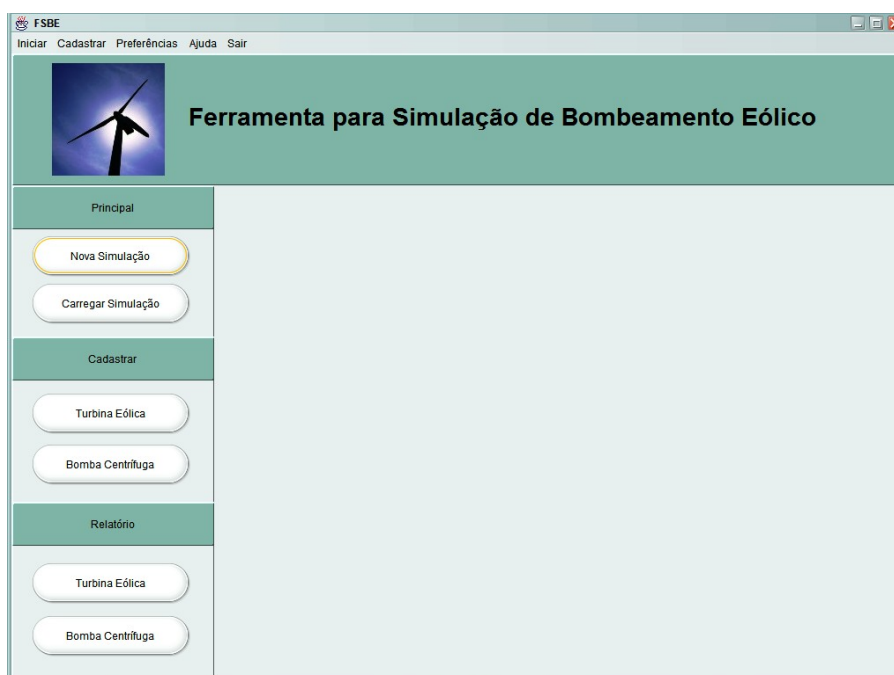


Figura 4 - Tela inicial da ferramenta para simulação de bombeamento eólico.

No módulo de gerenciamento de bombas ilustrado na Figura 6, o usuário da ferramenta pode efetuar o cadastro de bombas com o objetivo de a mesma poder ser utilizada em uma simulação de bombeamento eólico, ou seja, ao realizar a simulação o usuário irá selecionar em uma lista a bomba desejada para realizar o experimento.

Como entradas de dados são informadas: o nome e as características da bomba e ainda séries de dados para geração de sua curva de potencia que é apresentada em tempo de execução em forma de gráfico.

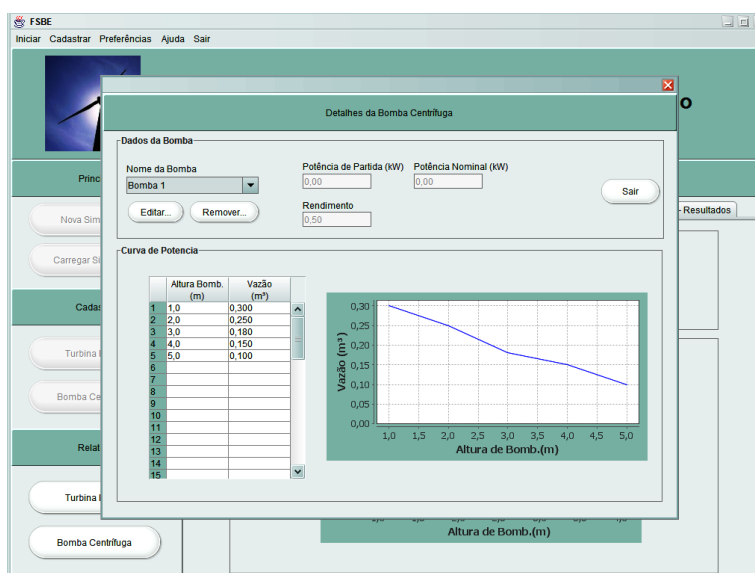


Figura 5 - Módulo de gerenciamento de bombas

Analogamente ao módulo de cadastro de bombas, o módulo de turbinas permite ao usuário da ferramenta efetuar o cadastro de turbinas eólicas com o objetivo de a mesma poder ser utilizada como

componente de uma simulação de bombeamento eólico. Este módulo ao ser carregado apresenta a tela ilustrada na Figura 7.

Como entradas de dados são informadas: o nome e as características da turbina eólica (altura de funcionamento, potencia de partida, potencia de desligamento, potencia nominal, e ainda séries de dados para geração de sua curva de potencia) a curva de potencia da turbina é gerada em tempo de execução e é apresentada ao usuário em forma de gráfico.

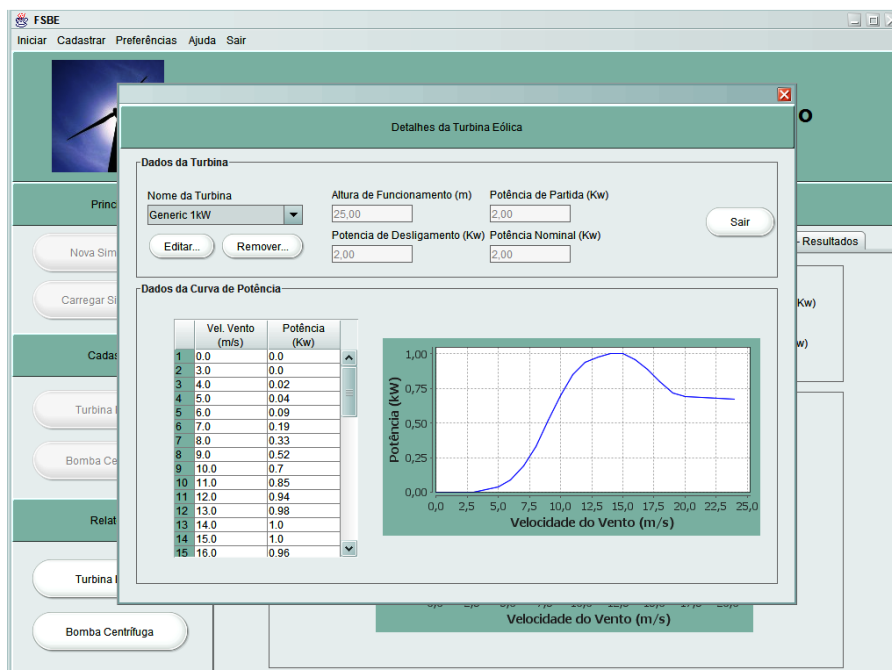


Figura 6 - Módulo de gerenciamento de turbinas

O módulo de simulação é o mais importante da ferramenta desenvolvida neste trabalho. É através dele que o usuário é capaz de realizar a simulação de bombeamento eólico. As Figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram as telas do módulo de simulação, onde inicialmente o usuário deverá entrar com os dados necessários para ser executada a simulação e posteriormente sairá à apresentação dos resultados.

Dentre esses dados de entrada podem ser citados:

- Nome do usuário/empresa e data da simulação;
- Dados da região que se deseja calcular o potencial de bombeamento eólico;
- Dados do poço;
- Dados da série de vento do local. Essa série é informada através de uma média para cada mês do ano, paralelamente em tempo de execução é gerado o gráfico da série de vento que pode ser observado na Figura 9;
- Dados da bomba que vai ser utilizada. Neste passo é apresentada ao usuário uma lista das bombas cadastradas no sistema para que seja selecionada ou ainda o usuário poderá efetuar o cadastro de outra bomba desejada que não esteja presente na lista apresentada pela ferramenta, conforme ilustra a Figura 11;

- Dados da turbina eólica que vai ser utilizada. Neste passo é apresentada ao usuário uma lista das turbinas eólicas cadastradas no sistema para que seja selecionada ou ainda o usuário poderá efetuar o cadastro de outra turbina desejada que não esteja presente na lista apresentada pela ferramenta, conforme ilustra a Figura 10;

The screenshot shows the FSBE software interface. The title bar indicates 'FSBE' and 'Iniciar Cadastrar Ajuda'. The main window has a green header with a wind turbine icon and the text 'Ferramenta para Simulação de Bombeamento Eólico'. Below the header, there's a sidebar with buttons for 'Principal', 'Cadastrar', and 'Relatório'. The 'Principal' section has 'Nova Simulação' and 'Carregar Simulação' buttons. The 'Cadastrar' section has 'Turbina Eólica' and 'Bomba Centrífuga' buttons. The 'Relatório' section has 'Turbina Eólica' and 'Bomba Centrífuga' buttons. The main area is titled 'Simulação de Bombeamento Eólico' and has tabs for 'Dados da Simulação - Região', 'Dados do Poço - Séries de Vento', 'Dados da Turbina', 'Dados da Bomba', and 'Opções - Resultados'. The 'Dados da Simulação - Região' tab is active, showing fields for 'Nome do Usuário', 'Data da Simulação', 'Nome do Sítio', 'Localização do Sítio', 'Latitude', 'Longitude', 'Altitude', 'Cidade', 'Estado', and 'Temperatura Média (°C)'. The values entered are: 'Fazenda Velha', '13° 52' S', '40° 04' W', '305,00', 'Jequié', 'BA', and '24,4'.

Figura 7 - Tela de entrada de dados da simulação e dados da região

The screenshot shows the FSBE software interface with the 'Dados do Poço' and 'Série de Vento' tabs active. The 'Dados do Poço' tab shows fields for 'Profundidade (m)', 'Nível Dinâmico (m)', 'Altura de Recalque (m)', 'Nível Estático (m)', 'Vazão Média (m³)', and 'Rugosidade (m)'. The values entered are: '20,0', '12,0', '30,0', '10,0', '2,0', and '0,200'. The 'Série de Vento' tab shows a table of monthly wind velocity data and a line graph of the same data.

Meses	Vel. Vento (m/s)
1 Janeiro	3,80
2 Fevereiro	3,82
3 Março	3,90
4 Abril	3,72
5 Maio	3,81
6 Junho	4,05
7 Julho	4,10
8 Agosto	4,35
9 Setembro	4,23
10 Outubro	3,98
11 Novembro	3,75
12 Dezembro	3,90

Figura 8 - Tela de entrada de dados do poço e da série de vento

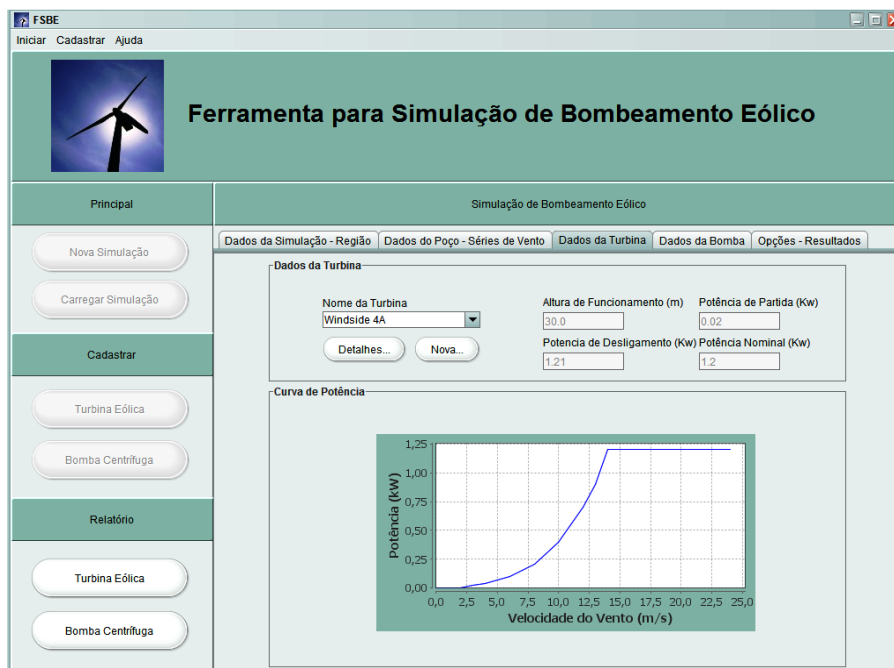


Figura 9 - Tela de entrada de dados da turbina eólica

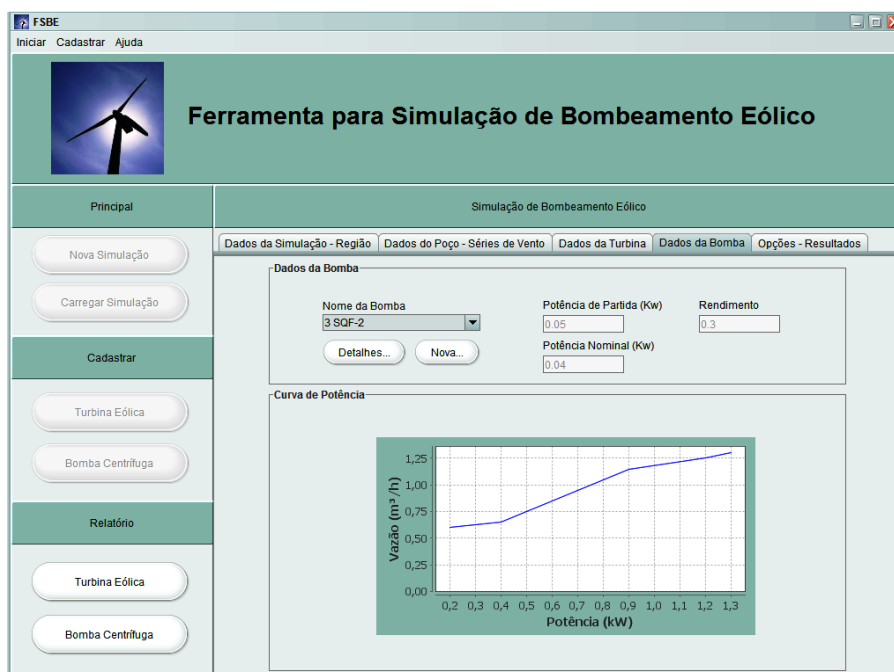


Figura 10 - Tela de entrada de dados da bomba

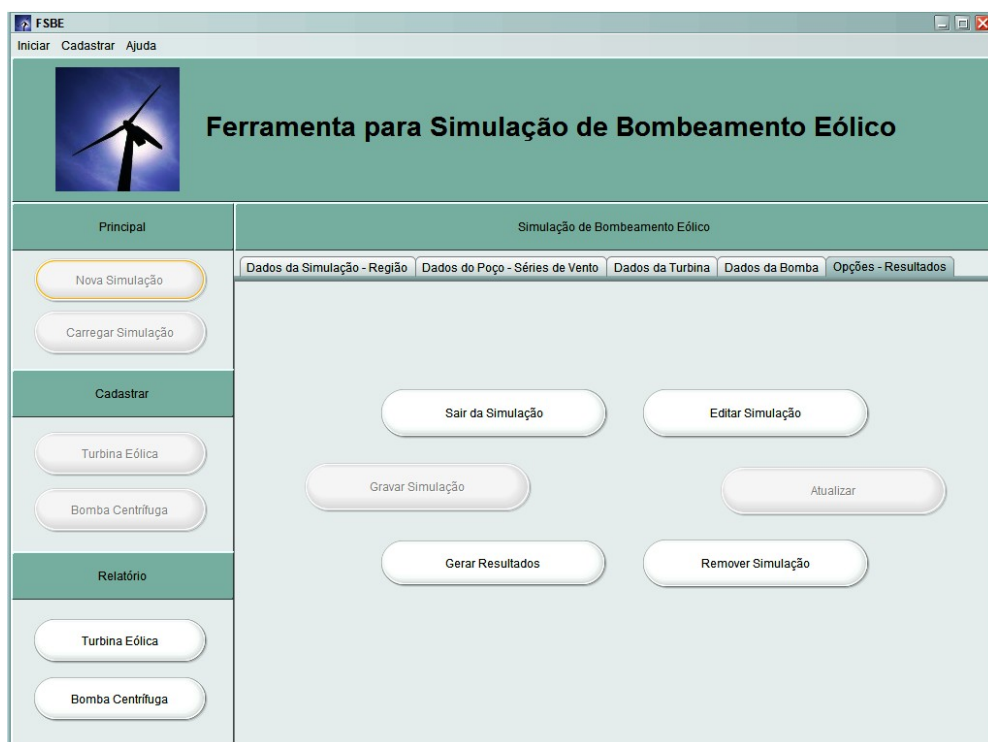


Figura 11 - Tela de opções do módulo de simulação

Após o usuário informar todos os dados necessários para realização da simulação é apresentado ao mesmo a opção de gravar a simulação e de gerar os resultados, conforme ilustra a Figura 12.

Ao clicar na opção gerar resultados é apresentada ao usuário uma tela onde estão contidos todos os resultados em forma de tabelas e gráficos, os mesmos podem ser observados nas Figuras 13, 14, 15.

Dentre os resultados apresentados pela ferramenta pode-se destacar:

1. Gráfico da série de vento, onde é ilustrada a série de vento inicial informada pelo usuário de acordo com a altura de captação dos dados, e a série de vento convertida para a altura de funcionamento da turbina eólica, conforme ilustra a Figura 13;
2. Gráfico do volume mensal bombeado em m^3 ;
3. Gráfico da vazão média bombeada por estação em m^3/h ;
4. Gráfico da média de pessoas atendidas por dia pelo sistema de bombeamento eólico.

Diante da tela de resultados o usuário poderá apenas analisar os resultados ou se desejar poderá ainda ser gerado um relatório completo da simulação contendo todos os dados da mesma, desde os dados informados pelo usuário até os resultados da simulação.

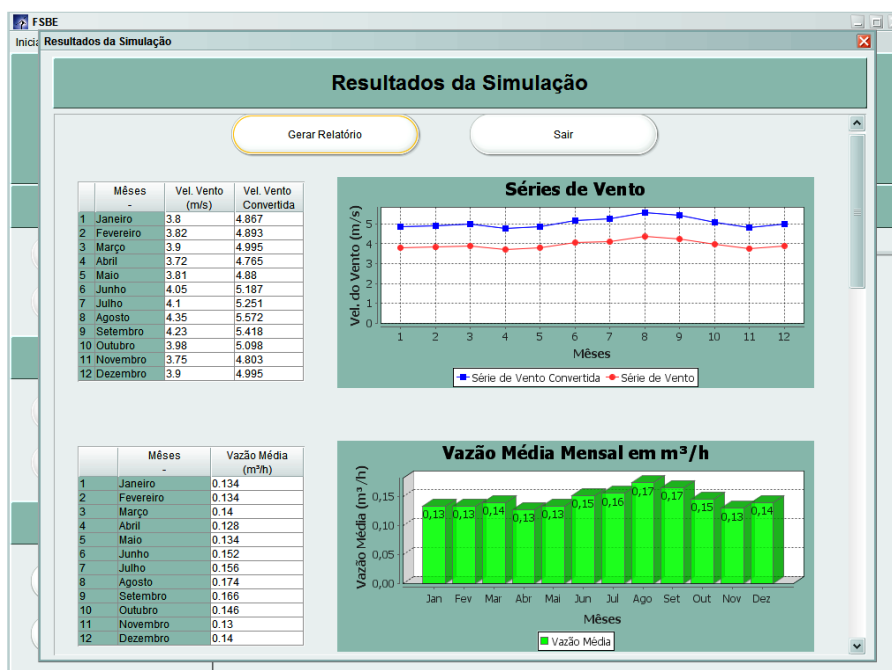


Figura 12 - Tela dos resultados da Simulação

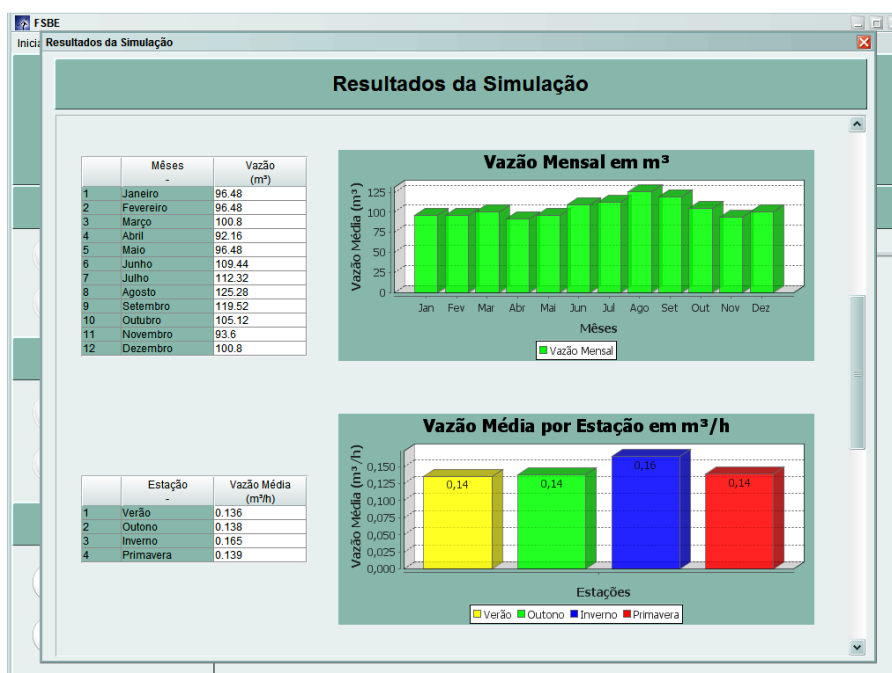


Figura 13 - Tela dos resultados da Simulação

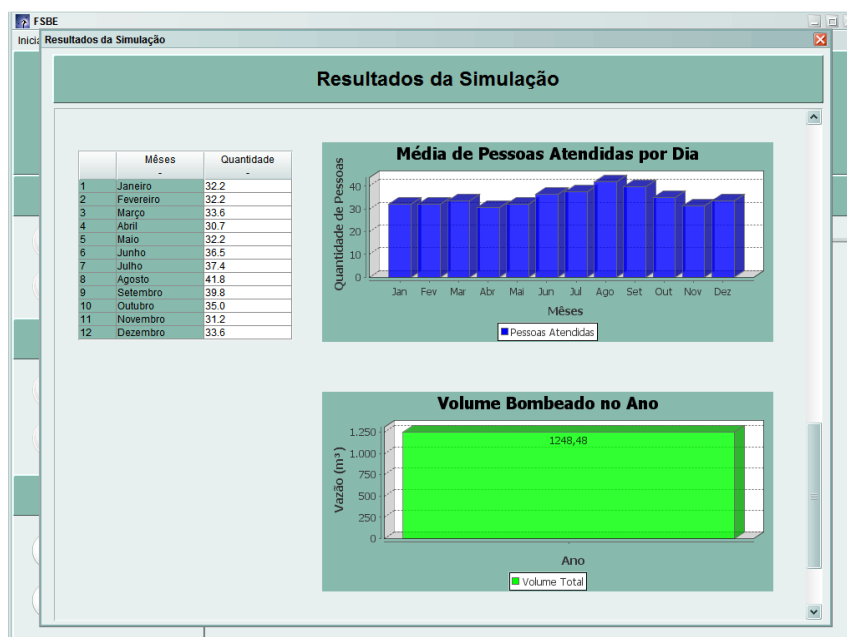


Figura 14 - Tela dos resultados da Simulação

Portanto é oferecida ao usuário da ferramenta de simulação de bombeamento eólico toda uma estrutura para que seja realizada a análise do potencial de bombeamento eólico de determinada localidade. Ainda esta disponível para o usuário a opção de gerar relatórios de todas as bombas e turbinas eólicas cadastradas na ferramenta.

Um Estudo de Caso

Para exemplificar a utilização da ferramenta, a seguir apresentamos uma simulação com dados reais. Um resumo dos dados são apresentados na Tab. 1 abaixo e, em seguida, os resultados através de gráficos representados na Fig. 16 a 20.

Tabela 1: Dados de simulação de teste com dados reais

Dados do sítio		
Nome	ID-451	
Cidade	Brumado	Bahia
Temp. média	24.3°C	
Localização	Lat:14° 12' S	Long: 41° 46' O
Altitude: 488,0		
Dados do Poço		
Profundidade: 50,3m	Nível estático: 6,8m	Nível dinâmico: 40,5
Vazão média: 1,4m³/h	Altura de recalque: 20,0	
Dados da Turbina eólica		
Nome: Synergy S5000D	Pot. Nominal: 750 W	Pot. De desligamento: 760 W
Pot. Partida: 10 W	Altura de trabalho: 25,0 m	
Dados da Bomba		
Nome: Grundfos SQF- 2.5-2N	Pot. Nominal: 1000 W	Rendimento: 0,4
Pot. Partida: 20 W		

Resultados de simulação

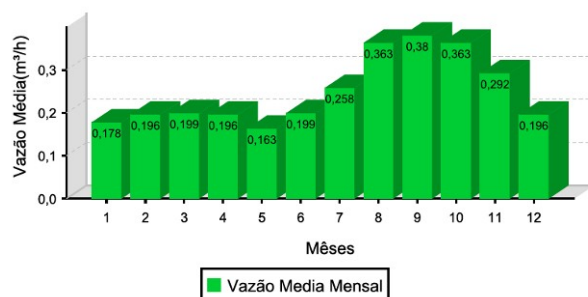


Figura 15: Resultado de vazão média mensal de bombeamento (m^3/h)

Na Fig. 16 é apresentado o resultado da simulação para avaliar a vazão média mensal, em m^3/h , durante o período de 1 ano, entre janeiro e dezembro (1 a 12) em razão dos dados de vento médios mensais. A menor vazão média, foi de $0,163 \text{ m}^3/\text{h}$ correspondente ao mês de maio e a máxima $0,38 \text{ m}^3/\text{h}$, correspondente ao mês de setembro.

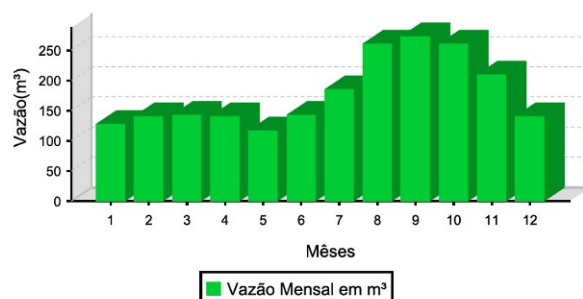


Figura 16: Resultado de vazão mensal de bombeamento ($\text{m}^3/\text{mês}$)

Na Fig. 17 é apresentado o resultado da simulação para avaliar a vazão mensal, em m^3 , durante o período de 1 ano, entre janeiro e dezembro (1 a 12). Os valores são obtidos pelo cálculo a partir da média mensal, multiplicada pelo tempo de 24 h, e 30 dias, considerando o valor médio. Isso não significa que a turbina operou ininterruptamente e gerou o volume mostrado na figura, apenas representa o resultado do comportamento médio do funcionamento do sistema, podendo na prática ser maior ou menor.

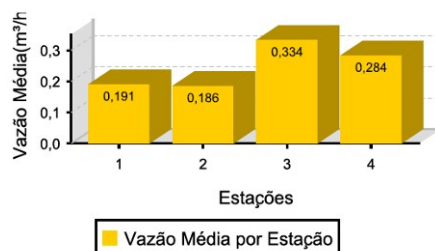


Figura 17: Resultado de vazão média de bombeamento por estação (m^3/h)

Na Fig. 18 é apresentado o resultado da simulação para avaliar a vazão média nas estações, em m^3/h , durante o período de 1 ano, entre janeiro e dezembro (1 a 12) em razão dos dados de vento médios mensais. É uma análise que leva a verificar o comportamento considerando as estações do ano e ajuda a entender como realizar um planejamento sazonal.

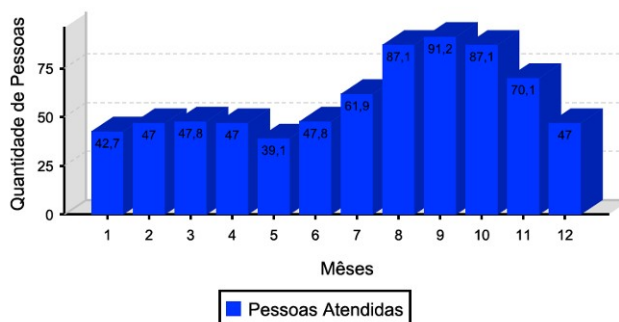


Figura 18: Total de pessoas atendidas mensal média

Na Fig. 19 é apresentado o resultado da simulação para avaliar a quantidade de pessoas que podem ser atendidas pelo sistema e qual o tamanho da comunidade rural que pode ser abastecida com o sistema, durante o período de 1 ano, entre janeiro e dezembro (1 a 2) em razão dos dados de vento médios mensais. Permite que saibamos, a partir da menor oferta, qual o planejamento necessário para determinar reservatórios e a capacidade de reserva para os períodos de menor oferta de água em decorrência das condições de vento. Neste caso, não podemos projetar para uma comunidade que seja maior que 39 pessoas, a menos que se tenha um reservatório capaz de suprir pra períodos de menor oferta de água.

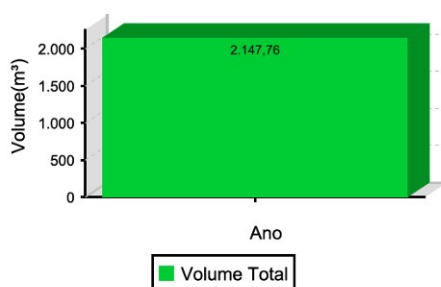


Figura 19: Vazão total anual (m³)

Na Fig. 20 é apresentado o resultado da simulação para avaliar do volume total bombeado, em m³, durante o período de 1 ano, entre janeiro e dezembro (1 a 2).

Conclusões

O presente trabalho destinou-se a implementação de uma ferramenta para simulação de bombeamento eólico. O desenvolvimento do sistema proposto foi completamente baseado em ferramentas de código aberto, foi utilizado o padrão MVC e o framework de persistência de dados Hibernate. O sistema é capaz de realizar simulações a partir de dados de determinada localidade, apresentando como resultados dados no que diz respeito ao bombeamento de água através de tabelas e gráficos.

Para realização do trabalho proposto, foi realizado o estudo de conceitos no que diz respeito a energias renováveis, mais precisamente, energia eólica e bombeamento eólico. Baseado nestes estudos foi desenvolvido a ferramenta apresentada neste trabalho.

O trabalho proposto atingiu seu objetivo geral de desenvolver uma ferramenta capaz de simular o funcionamento de um sistema de bombeamento eólico, a qual será um instrumento que poderá auxiliar no planejamento para implantação de projetos de bombeamento eólico.

Buscou-se desenvolver uma ferramenta com interface intuitiva, possibilitando assim maior facilidade no manuseio da mesma por parte do usuário.

As metodologias e métodos empregados mostraram capacidade de atender as necessidades no que diz respeito à realização dos objetivos principais e específicos proposto por este projeto.

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho foi observado um benefício claro na realização do mesmo, com a possibilidade de colocar em prática os conhecimentos adquiridos. As decisões de projeto para o desenvolvimento de uma ferramenta útil, em tempo hábil, bem como a aplicação prática das tecnologias envolvidas com o projeto e implementação do sistema se configuraram como uma grande oportunidade para sedimentação do aprendizado ao decorrer do curso. Além disso, a realização deste trabalho trouxe novos conhecimentos e possibilitou a obtenção de experiência acerca das diversas tecnologias empregadas.

Portanto, conclui-se que o presente trabalho atingiu seus objetivos, visto que a ferramenta desenvolvida oferece resultados de fácil interpretação por parte do usuário. A ferramenta permite ainda uma boa base para extensões e implementações futuras.

Com a utilização dessa ferramenta computacional é possível estimar o bombeamento d'água em relação:

- A vazão média mensal
- O volume total bombeado no mês
- A vazão média por estação
- A quantidade de pessoas atendidas
- O volume total bombeado no ano

Desta forma esta ferramenta também poderá contribuir em âmbito acadêmico para estudos voltados a energias renováveis, mais especificamente aplicações da energia eólica.

Referências

- [1] R. Aldabó. “Energia Eólica”. São Paulo. Artliber Editora, 2002.
- [2] J. A. V. Alé, Desenvolvimento de aplicativo computacional para ensino de energias renováveis: dimensionamento de sistemas eólicos e fotovoltaicos. Cobenge, 2001. Disponível em: <http://www.pp.ufu.br/Cobenge2001/trabalhos/EMA019.pdf>
- [3] N. Argaw. Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages. New Mexico State University, New Mexico, 2003.
- [4] C. Bayer. Java persistence with Hibernate. Editora Manning, 2005.
- [5] G. R. Berkenbrock. Uma ferramenta para o desenvolvimento de modelos de simulação integrada ao ambiente grid. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- [6] E. Bezerra. **Princípios de análise e projeto de sistemas com UML**. Editora Campus, 2006.
- [7] F. G. R de Campos. Geração de energia a partir de fonte eólica com gerador assíncrono conectado a conversor estático duplo. Universidade de São Paulo, SP, 2004. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-25062004-130205/>
- [8] R. M. Dutra. Energia eólica princípios e tecnologias. Centro de referência para energia solar e eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_eolica_e-book.pdf
- [9] C. R. Ferreira. Potencial de Bombeamento: uma metodologia de análise, dissertação submetida à Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do grau de mestre em engenharia mecânica,

Recife, 2006. Disponível em:

http://www.bdttd.ufpe.br/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=251

[10] T. Givler, Using HOMER Software. NREL's Micropower Optimization Model, to Explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems; Case study: Sri Lanka, NREL/TP-710-36774, 2005. Disponível em: www.nrel.gov/docs/fy05osti/36774.pdf

[11] E. Gonçalves. **Desenvolvendo relatórios profissionais com iReport para Netbeans IDE.** Editora Ciência Moderna, 2009.

[12] T. H. Inatomi. Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. Universidade de São Paulo (USP), 2005. Disponível em: <http://www.cori.rei.unicamp.br/BrasilJapao3/Trabalhos2005/Trabalhos%20Completo/Analise%20dos%20impactos%20ambientais%20na%20producao%20de%20energia%20den.pdf>

[13] L. S. Indrusiak. Linguagem Java. Grupo Java RS JUG Rio Grande do Sul, 1996.

[14] F. R. Martins. O aproveitamento da energia eólica. Instituto nacional de pesquisas espaciais, São José dos Campos, SP, 2007. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301304.pdf>

[15] B. A. de Mello. Modelagem e simulação de sistemas. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2001.

[16] J. F. Presenço. Desenvolvimento de um sistema de controle para avaliação de fontes de energias renováveis no bombeamento de água. Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, SP, 2007. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=85613

[17] A. M. M. da Rocha. Introdução a arquitetura de software. Fábrica de software do CESUPA, Belém, PA, 2008.

[18] A. M. Silva. "UML, metodologias e ferramentas CASE". Lisboa, Portugal. Centro Atlântico Editora, 2001.

[19] A. C. N de Salles. Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração eólica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/acnsalles.pdf>.